

CAPITULO F.4

ESTRUCTURAS DE ACERO HECHAS CON PERFILES LAMINADOS O MIEMBROS ARMADOS; DISEÑO PARA ESFUERZOS ADMISIBLES

F.4.0 GENERALIDADES

F.4.0.1 - ALCANCE - Las normas contenidas en este capítulo pueden utilizarse como alternativa a las prescritas en el capítulo F.2 de las normas, para el diseño de estructuras de acero con miembros hechos con perfiles laminados.

Se entiende que en el diseño se seguirán todas las prescripciones del capítulo F.2, salvo aquellas que se reemplazan específicamente en el capítulo F.4 por referirse al diseño para esfuerzos admisibles.

F.4.0.2 - TIPOS DE CONSTRUCCION - En estructuras de acero hechas con perfiles laminados y diseñadas para esfuerzos admisibles se reconocen tres tipos básicos de construcción, cada uno de los cuales involucra suposiciones específicas cuyo cumplimiento debe garantizarse en el diseño, fabricación y montaje de los elementos y sus conexiones. Ellos son:

Tipo 1 - Llamado comúnmente "Entramado Rígido o Pórtico Continuo" en el que se considera que las conexiones entre vigas y columnas tienen suficiente rigidez para mantener virtualmente sin cambio los ángulos originales de los miembros que se intersectan.

Tipo 2 - Llamado comúnmente "Entramado Simple o Construcción Simplemente Apoyada" en el que se considera que, en lo referente a cargas muertas, los extremos de las vigas principales y secundarias pueden rotar libremente y cuyas conexiones son adecuadas únicamente para resistir la fuerza de corte causada por ellas.

Tipo 3 - Llamado "Entramado Semi-Rígido o Parcialmente Restringido", en el que las conexiones entre vigas principales y secundarias poseen una capacidad de momento confiable conocida, de valor intermedio entre la rigidez total del Tipo 1 y la flexibilidad del Tipo 2.

Todas las conexiones deberán diseñarse de manera consistente con el tipo de construcción señalado en los planos de diseño.

Las estructuras comprendidas en el tipo 1 se diseñarán por teoría elástica para resistir los esfuerzos producidos por las cargas estipuladas en el Título B, sin sobrepasar los esfuerzos admisibles prescritos en este capítulo.

Las estructuras comprendidas en los tipos 2 y 3 se diseñarán para resistir en igual forma los esfuerzos producidos por dichas cargas, con base en los supuestos establecidos a continuación.

En edificios de varios pisos diseñados como construcción del Tipo 2, es decir, con conexiones flexibles entre vigas y columnas para cargas muertas, los momentos producidos por viento o sismo pueden distribuirse entre nudos seleccionados del pórtico siempre y cuando:

- (a) Las conexiones y los miembros conectados tengan capacidad para resistir los momentos producidos por el viento o sismo.
- (b) Las vigas principales tengan capacidad para resistir la totalidad de cargas muertas como si actuaran con el carácter de vigas simplemente apoyadas.
- (c) Las conexiones tengan suficiente capacidad de rotación inelástica para evitar sobreesfuerzos en los sujetadores o soldaduras bajo la acción combinada de cargas muertas y de viento o sismo.

El Tipo 3 de construcción se puede usar únicamente cuando hay evidencia de que las conexiones son capaces de aportar como mínimo una cantidad previsible de restricción.

El diseño de los miembros principales unidos por tales conexiones deberá hacerse con base en una restricción no mayor que este mínimo.

Para las construcciones de los Tipos 2 y 3 pueden aceptarse algunas deformaciones inelásticas de una parte de la estructura, siempre y cuando sean autolimitantes

F.4.1 - BASES DE DISEÑO

F.4.1.1 - ESFUERZOS ADMISIBLES - Cuando se siga el Capítulo F.4, todos los elementos estructurales, conexiones y conectores deberán diseñarse de manera que los esfuerzos producidos por cargas de trabajo no excedan los esfuerzos admisibles especificados en F 4 3, F.4.4, F.4 5, F 4.6, F.4.7, F.4.8, F.4 9 y F.4.10.

Los esfuerzos admisibles especificados en estos numerales no se aplican a los esfuerzos máximos en zonas de conexión (véase también F 4 2 3) siempre y cuando se cumplan los requisitos de F.4.10.

F.4.1.2 - ESFUERZOS ADMISIBLES EN EL CASO DE VIENTO Y SISMO - Los esfuerzos admisibles establecidos atrás pueden incrementarse en 1/3 al estudiar el efecto de cargas sísmicas o eólicas que actúan solas o en combinación con las cargas muerta y viva de diseño. La sección requerida con base en este incremento no podrá ser menor que la exigida por la combinación de cargas muerta y viva de diseño o impacto (si lo hay), calculada sin el incremento de esfuerzos. Además, los esfuerzos admisibles incrementados sólo pueden aplicarse a combinaciones de cargas en que no se hayan utilizado coeficientes de reducción de carga por otras causas. El incremento en esfuerzos admisibles no se aplica a los miembros sometidos a fatiga.

F.4.2 - REQUISITOS DE DISEÑO

F.4.2.1 - PANDEO LOCAL

F.4.2.1.1 - Clasificación de los perfiles de acero - Los perfiles de acero se clasifican como perfiles compactos, perfiles no compactos y perfiles con elementos esbeltos. Para que un perfil se considere compacto, las aletas deben estar conectadas continuamente al alma y la relación ancho-espesor de los elementos a compresión no debe exceder los valores límites aplicables de la tabla F 4-1. Los perfiles de acero que no se clasifican como compactos se consideran perfiles no compactos si las relaciones ancho-espesor de los elementos a compresión no exceden los valores correspondientes de la tabla.

Si la relación ancho-espesor de cualquier elemento a compresión excede el valor aplicable de la tabla, el perfil se clasifica como perfil de elementos esbeltos

En elementos no atiesados que tienen soporte lateral en un borde solamente, paralelo a la dirección de la fuerza de compresión, el ancho se tomará así:

- (a) Para aletas de perfiles doble T, el ancho b es igual a la mitad del ancho nominal
- (b) Para lados de ángulos y aletas de canales y perfiles Z, el ancho b es igual al ancho nominal.
- (c) Para platinas, el ancho b es igual a la distancia del extremo libre a la primera hilera de sujetadores o línea de soldadura.
- (d) Para almas de tees, d se toma igual a la altura nominal

En elementos atiesados, o sea aquellos que tienen soporte lateral a lo largo de dos bordes paralelos a la dirección de la fuerza de compresión, el ancho se tomará así:

- (a) Para almas de secciones laminadas o ensambladas, h es la distancia libre entre aletas

(b) Para almas de secciones laminadas o ensambladas, d es la altura nominal.

(c) Para aletas o platinas de diafragma en secciones ensambladas, el ancho b es la distancia entre líneas adyacentes de sujetadores o entre líneas de soldaduras

(d) Para aletas de secciones tipo cajón rectangulares, el ancho b es la distancia libre entre almas menos el radio interior esquinero en cada lado. Si este radio no se conoce, el ancho puede tomarse como el ancho total de la sección menos tres veces el espesor.

Para aletas ahusadas de secciones laminadas, el espesor es el valor nominal equidistante entre el extremo libre y la cara correspondiente del alma.

F.4.2.1.2 - Elementos esbeltos a compresión - Para el diseño de perfiles sujetos a flexión y compresión con elementos esbeltos a compresión véase F.4.11.

F.4.2.2 - LUCES SIMPLES - Las vigas principales, secundarias y de celosía diseñadas sobre la base de luces simples tendrán una longitud efectiva igual a la distancia entre los centros de gravedad de los elementos a los cuales transmiten sus reacciones.

F.4.2.3 - RESTRICCIÓN EN EL EXTREMO - Cuando se diseña sobre la hipótesis de restricción parcial o total en un extremo debida a la acción de una continuidad, una semicontinuidad o un voladizo, las vigas principales, secundarias y de celosía, así como las secciones de los miembros a los cuales se conectan, deben diseñarse para recibir los esfuerzos cortantes y los momentos que así se introducen, sin exceder en ningún punto los esfuerzos unitarios estipulados en F.4.3 a F.4.5, salvo que se permite alguna deformación inelástica, pero autolimitada de una parte de la conexión, cuando ésta es esencial para evitar la sobrecarga de los sujetadores.

F.4.2.4 - DIMENSIONAMIENTO DE VIGAS PRINCIPALES Y SECUNDARIAS - Las vigas ensambladas de alma llena, las vigas con platabandas, y las vigas laminadas o soldadas se deben diseñar en general con base en el momento de inercia de su sección total. No debe hacerse ninguna reducción de área en las aletas por concepto de perforaciones de pernos o remaches, siempre y cuando que

$$0.5F_u A_{fn} \geq 0.6F_y A_{fg} \quad (\text{F.4-1})$$

en donde:

A_{fg} = es el área total

A_{fn} = el área neta de la aleta, calculada de acuerdo con las estipulaciones de F.2.8.1 y F.2.8.2

Si
$$0.5F_u A_{fn} \leq 0.6F_y A_{fg} \quad (\text{F.4-2})$$

las propiedades de flexión del miembro deben basarse en el área efectiva de la aleta a tensión A_{fe}

$$A_{fe} = \frac{5F_u}{6F_y} A_{fn} \quad (\text{F.4-3})$$

Las vigas híbridas pueden diseñarse con base en el momento de inercia de su sección total, cumpliendo las disposiciones aplicables de F.2.13, siempre y cuando no vayan a resistir una fuerza axial mayor de $0.15F_y$ por el área de la sección total, en donde F_y es el esfuerzo de fluencia del material de la aleta. Para calificar como viga híbrida, en cualquier sección las aletas deben tener la misma área de sección transversal y estar elaboradas del mismo grado de acero

Las aletas de vigas soldadas de alma llena pueden variar de espesor y ancho traslapando una serie de platinas o usando platabandas.

El área total de las platabandas en vigas remachadas de alma llena no debe exceder del 70% del área total de la aleta

**Tabla F.4-1
Valores límites de la relación ancho-espesor para elementos a compresión**

Descripción del elemento	Relación ancho-espesor	Valores límites	
		Compactos	No compactos(c)
Aletas de vigas laminadas en forma de I y canales sometidos a flexión (véase la nota a)	b/t	$55/\sqrt{F_y}$	$80\sqrt{F_y}$
Aletas de vigas en forma de I soldadas y sometidas a flexión	b/t	$55/\sqrt{F_y}$	$80/\sqrt{F_y/k_c}$ (e)
Ángulos o platinas que sobresalen de vigas o columnas laminadas; lados principales de ángulos dobles en contacto continuo; rigidizadores de vigas fabricadas.	b/t	NA	$80/\sqrt{F_y}$
Ángulos o platinas que sobresalen de vigas, columnas fabricadas u otros miembros a compresión; aletas a compresión de vigas de alma llena.	b/t	NA	$80/\sqrt{F_y/k_c}$
Almas de tees	d/t	NA	$106/\sqrt{F_y}$
Lados de riostras de ángulo sencillo; lados de riostras de ángulos dobles con separadores; elementos no atiesados, simplemente apoyados a lo largo de un borde; secciones transversales en forma de cruz o estrella.	b/t	NA	$64/\sqrt{F_y}$
Aletas de secciones tipo cajón cuadradas o rectangulares y secciones estructurales huecas de espesor uniforme sometidas a flexión o compresión (d); platabandas de aleta y platinas de diafragma entre líneas de sujetadores o soldaduras.	b/t	$159/\sqrt{F_y}$	$200/\sqrt{F_y}$
Anchos sin soporte de platabandas perforadas con una sucesión de huecos de acceso (véase la nota b)	b/t	NA	$266/\sqrt{F_y}$
Todos los demás elementos atiesados sometidos a compresión uniforme, es decir con soporte lateral a lo largo de ambos bordes	b/t h/t _w	NA	$212/\sqrt{F_y}$
Almas sometidas a compresión por flexión (véase la nota a)	d/t h/t _w	$537/\sqrt{F_y}$	$637/\sqrt{F_b}$
Almas sometidas a compresión axial y por flexión combinadas.	d/t _w	Para $f_x/F_y \leq 0.16$ $\frac{537}{\sqrt{F_y}} \left[1 - 3.74 \frac{f_x}{F_y} \right]$	
		Para $f_x/F_y > 0.16$ $215/\sqrt{F_y}$	
	h/t _w		$637/\sqrt{F_b}$
Secciones circulares huecas a compresión axial; a flexión	D/t	$2320/F_y$	

Notas:

- (a) En vigas híbridas se debe utilizar la resistencia a la fluencia de la aleta F_{yt} en lugar de F_y .
- (b) Se supone el área neta de la platabanda en el hueco más amplio
- (c) Para el diseño de perfiles esbeltos que exceden los límites de secciones no compactas véase F.4.11
- (d) Véase también F.4.12.3.1

(e) $k_c = \left[4.05 / (h/t)^{0.46} \right]$ si $h/t = 70$, de lo contrario $k_c = 1.0$

Los remaches, pernos de alta resistencia o soldaduras que unen las aletas al alma, o las platabandas a la aleta se calcularán para resistir el corte horizontal máximo que resulte de las fuerzas de flexión en la viga. La distribución longitudinal de tales remaches, pernos o soldaduras intermitentes será proporcional a la intensidad del corte, sin embargo, su espaciado longitudinal no podrá exceder el máximo permitido para miembros a compresión y tensión en F.4.4.1 y F.4.5.2 respectivamente. Además, los remaches, pernos y soldaduras que unen la aleta al alma se diseñarán para transmitir al alma todas las cargas que se apliquen directamente a la aleta, excepto cuando se toman medidas para transmitir tales cargas por apoyo directo.

Las platabandas de longitud parcial se extenderán más allá del punto teórico en que ya no se necesitan y la porción extendida se unirá a la viga mediante remaches, pernos de alta resistencia (unión tipo fricción), o soldaduras de filete adecuadas, sin sobrepasar los esfuerzos aplicables permitidos en F.4.9.2.4, F.4.9.3.4 o en F.4.10.4, con el fin de desarrollar la parte del momento resistente de la viga que corresponde a las platabandas, en el punto teórico en que dejan de necesitarse.

Adicionalmente en platabandas soldadas, las soldaduras que unen la terminación de la platabanda a la viga tendrán como mínimo la longitud a' , definida más adelante, y desarrollarán la parte del momento flector que les corresponde a las platabandas, sin sobrepasar los esfuerzos admisibles, a la distancia a' del extremo de la platabanda.

La distancia a' , medida desde el extremo de la platabanda, deberá ser:

- (1) Igual al ancho de la platabanda cuando la soldadura se aplica continua, transversalmente en el extremo, y en una longitud a' a lo largo de los bordes laterales de la platina. El tamaño de esta soldadura no será menor que los $3/4$ del espesor de la platabanda.
- (2) Igual a 1.5 veces el ancho de la platabanda cuando la soldadura se aplica en la forma descrita en el punto 1, pero su tamaño es menor que los $3/4$ del espesor de la platina.
- (3) Igual a dos veces el ancho de la platabanda cuando no haya soldadura transversal en el extremo de la platina, sino únicamente soldaduras continuas, cada una de longitud a' , a lo largo de ambos bordes de la platabanda.

F.4.2.5 - DIMENSIONAMIENTO DE VIGAS PORTAGRUA - Las aletas de vigas de alma llena que soportan grúas u otras cargas móviles se diseñarán para resistir las fuerzas horizontales producidas por tales cargas.

F.4.3 MIEMBROS A TENSION

F.4.3.1 - ESFUERZOS ADMISIBLES - El esfuerzo admisible F_t no debe exceder de $0.60F_y$ en el área total, ni de $0.50F_u$ en el área neta efectiva. Los miembros conectados mediante pasadores deberán cumplir además con los requisitos de F.4.3.2.1.

En las conexiones extremas de miembros a tensión debe investigarse la resistencia del bloque de cortante de acuerdo con F.4.9.4.

Las barras de ojo deben cumplir con los requisitos de F.4.3.2.1.

F.4.3.2 - MIEMBROS CONECTADOS CON PASADORES

F.4.3.2.1 - Esfuerzos admisibles - El esfuerzo admisible en el área neta de los huecos de pasadores en miembros conectados por pasadores es $0.45F_u$. El esfuerzo de apoyo en el área proyectada por el pasador no debe exceder el esfuerzo permitido en F.4.9.8.

El esfuerzo admisible en barras de ojo que se ajustan a los requisitos de F.2.4.3 es $0.60 F_y$ sobre el área del cuerpo.

F.4.4 - COLUMNAS Y OTROS MIEMBROS A COMPRESION

F.4.4.1 - ESFUERZOS ADMISIBLES - Para miembros a compresión cargados axialmente cuya sección transversal cumpla los requisitos de la tabla F.4-1, cuando la relación de esbeltez efectiva mayor (Kl/r) de cualquier segmento sin arriostramiento, sea menor que C_c , se tomará como valor del esfuerzo admisible sobre la sección total.

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(Kl/r)^2}{2C_c^2} \right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(Kl/r)}{8C_c} - \frac{(Kl/r)}{8C_c^3}} \quad (\text{F.4-4})$$

en donde:

$$C_c = \sqrt{2\pi^2 E / F_y}$$

Cuando la relación Kl/r de estos miembros excede el valor de C_c , se tomará como esfuerzo admisible sobre la sección total:

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(Kl/r)^2} \quad (\text{F.4-5})$$

F.4.4.2 - PANDEO FLEXOTORSIONAL - Para miembros a compresión con simetría simple o asimétricos, tales como ángulos o columnas en forma de te y columnas doblemente simétricas cruciformes o ensambladas con elementos de paredes muy delgadas puede ser necesaria la consideración del efecto del pandeo flexo torsional y torsional. La relación de esbelteces efectiva $(Kl/r)_e$, se tomará como $\pi\sqrt{E/F_e}$ en donde el esfuerzo crítico de pandeo elástico F_e se determinará de acuerdo con el numeral F.2.15.1 y el esfuerzo admisible F_a se determinará usando las ecuaciones F.4-4 o F.4-5.

F.4.4.3 - MIEMBROS FABRICADOS - Todas las partes de miembros fabricados sometidos a compresión y la separación transversal de sus líneas de conectores deben cumplir los requisitos de F.4.1 7

Para los requisitos de separación y distancia al borde de miembros de acero resistente a los agentes atmosféricos, véase F.4.9 3.10.

En los extremos de miembros fabricados sometidos a compresión, con apoyos sobre platinas de base o superficies cepilladas, todos los componentes que se hallen en mutuo contacto deben conectarse mediante pernos o remaches, distanciados longitudinalmente menos de 4 diámetros, en una distancia igual a $1\frac{1}{2}$ veces el ancho máximo del miembro, o mediante soldaduras continuas de longitud no inferior a dicho ancho.

En miembros fabricados la separación longitudinal de pernos o remaches intermedios y de soldaduras intermitentes, debe ser adecuada para la transferencia del esfuerzo calculado.

La separación máxima longitudinal de pernos, remaches o soldaduras intermitentes que conecten entre sí dos perfiles de acerla no debe exceder de 610 mm.

Adicionalmente, en miembros pintados o no sujetos a corrosión cuando el elemento externo es una platina, la separación máxima longitudinal no debe exceder:

$2700/\sqrt{F_y}$ veces el espesor de la platina externa o 305 mm cuando los conectores no van alternados a lo largo a las líneas de gramil adyacentes.

$4050/\sqrt{F_y}$ veces el espesor de la platina externa o 457 mm cuando los conectores van alternados a lo largo de las líneas de gramil adyacentes

Los miembros a compresión fabricados con dos o más perfiles laminados separados unos de otros mediante elementos de relleno colocados a intervalos, deben conectarse entre sí en dichos separadores con un espaciamiento tal, que la relación de esbeltez de cualquier perfil l/r entre conectores no supere $3/4$ veces la relación de esbeltez que gobierna el diseño del miembro fabricado. Para calcular la relación de esbeltez de cada componente debe usarse su radio de giro mínimo, r

Como mínimo deben utilizarse 2 conectores intermedios a lo largo de la longitud del miembro fabricado

Todas las uniones, incluyendo aquellas en los extremos, deben soldarse o atornillarse con pernos de alta resistencia según los requisitos de la tabla F.2-7.

Los lados abiertos de miembros a compresión fabricados con planchas o perfiles tendrán una celosía y platinas de amarre, en los extremos y en los puntos intermedios en donde se interrumpa la celosía. Las platinas de amarre estarán localizadas lo más cerca posible de los extremos.

La celosía, esto es, las barras planas, ángulos, canales u otros perfiles empleados para hacerla, estará espaciada en tal forma que la relación l/r de la aleta incluida entre sus conexiones no exceda $3/4$ veces la relación que gobierna el diseño de todo el miembro, y se diseñará para que resista una fuerza de corte normal al eje del miembro igual al dos por ciento de la fuerza total de compresión que actúa sobre él.

F.4.4.4 - MIEMBROS A COMPRESION CONECTADOS CON PASADORES - Las uniones de miembros a compresión conectados con pasadores deberán cumplir con los requisitos de F.4.3.3

F.4.4.5 - FUERZAS CORTANTES EN ALMAS DE COLUMNAS - Las conexiones que produzcan fuerzas cortantes en el alma de columnas deberán investigarse para las cargas concentradas definidas en F.4.10.1.

F.4.5 - VIGAS Y OTROS MIEMBROS A FLEXION

F.4.5.1 - ESFUERZOS ADMISIBLES - Flexión de perfiles I y canales con respecto a su eje mayor

F.4.5.1.1 - Miembros de perfiles compactos - Para miembros compactos, definidos según F.4.2.1.1 (excepto en vigas híbridas y en miembros con puntos de fluencia superiores a 45.7 kgf/mm^2) simétricos con respecto al plano de su eje menor, el esfuerzo admisible es

$$F_b = 0.66F_y \quad (\text{F.4-6})$$

Siempre y cuando que las aletas estén unidas en forma continua al alma y que la longitud sin soporte lateral de la aleta a compresión L_b no exceda el menor valor L_c dado por las fórmulas

$$\frac{63bf}{\sqrt{F_y}} \quad \text{o} \quad \frac{14060}{(d/A_f)F_y} \quad (\text{F.4-7})$$

Los miembros (incluyendo los diseñados como sección compuesta y exceptuando las vigas híbridas y los miembros con puntos de fluencia superiores a 45.7 kgf/mm^2) que cumplan con los requisitos de perfiles compactos y sean continuos sobre los apoyos o estén rígidamente conectados a las columnas, pueden diseñarse para los $9/10$ de los momentos negativos máximos en los puntos de apoyo, producidos por las cargas de gravedad, siempre y cuando para tales miembros se incremente el momento máximo positivo en $1/10$ del promedio de los momentos negativos. Esta reducción no se aplicará a los momentos producidos por cargas sobre voladizos. Si el momento negativo es resistido por una columna conectada rígidamente a la viga en cuestión, puede utilizarse la reducción de $1/10$ en el diseño de la columna bajo la acción combinada de

carga axial y flexión, siempre y cuando el esfuerzo f_x debido a cualquier carga axial concurrente a que esté sometido el miembro no exceda de $0.15F_y$.

F.4.5.1.2 - Miembros de perfiles no compactos - Para miembros que cumplan con los requisitos del numeral anterior excepto que sus aletas sean no compactas (excluyendo los miembros fabricados y los miembros con puntos de fluencia superiores a 45.7 kgf/mm^2), el esfuerzo admisible es

$$F_b = F_y \left[0.79 - 0.002 \frac{b_f}{2t_f} \sqrt{F_y} \right] \quad (\text{F.4-8})$$

Para miembros fabricados que cumplan con los requisitos de F.2.12.1.1 excepto que sus aletas sean no compactas y sus almas compactas o no compactas. (excluyendo las vigas híbridas y miembros con puntos de fluencia superiores a 45.7 kgf/mm^2) el esfuerzo admisible es

$$F_b = F_y \left[0.79 - 0.002 \frac{b_f}{2t_f} \sqrt{F_y/k_c} \right] \quad (\text{F.4-9})$$

en donde:

$$k_c = \frac{4.05}{(h/t_w)} \text{ si } \frac{h}{t_w} > 70, \text{ de lo contrario } k_c = 1.0$$

Para miembros de perfiles no compactos, no incluidos en el punto anterior, arriostrados lateralmente en la región de esfuerzos a compresión a intervalos que no excedan de $64b_f/\sqrt{F_y}$, el esfuerzo admisible es

$$F_b = 0.60F_y \quad (\text{F.4-10})$$

F.4.5.1.3 - Miembros de perfiles compactos o no compactos con longitud no arriostrada mayor que L_c - Para miembros a flexión de perfiles compactos o no compactos definidos en F.4.1.5.1 y con longitudes no arriostradas mayores que L_c de acuerdo con F.4.5.1.1, el esfuerzo admisible a tensión por flexión se determina por la fórmula F.4-10.

Para tales miembros con un eje de simetría en el plano del alma y cargados en dicho plano, el esfuerzo admisible a compresión por flexión se determina como el mayor valor de los calculados mediante las fórmulas F.4-11 o F.4-12 y la fórmula F.4-13 aplicable solamente a perfiles con una aleta sólida a compresión, de sección transversal aproximadamente rectangular y con área no inferior a la de la aleta a tensión. Se permiten valores superiores de esfuerzos admisibles a compresión si se justifican mediante análisis más precisos. Los esfuerzos no deben exceder los permitidos en F.4.6 siempre que sean aplicables.

Para canales flexionados con respecto a su eje mayor, el esfuerzo admisible a compresión se determina por la fórmula F.4-13.

Cuando $\sqrt{71700C_b/F_y} \leq (l/r_T) \leq \sqrt{359000C_b/F_y}$

$$F_b = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y (l/r_T)^2}{1075000C_b} \right] F_y \leq 0.60F_y \quad (\text{F.4-11})$$

Cuando $(l/r_T) \geq \sqrt{359000C_b/F_y}$

$$F_b = \frac{120000C_b}{(l/r_T)^2} \leq 0.60F_y \quad (\text{F.4-12})$$

Para cualquier valor de l/r_T ,

$$F_b = \frac{8440C_b}{(I_d/A_f)} \leq 0.60F_y \quad (\text{F.4-13})$$

En donde:

- l = distancia entre secciones transversales arriostradas contra torsión o desplazamiento lateral de la aleta a compresión, mm. En el caso de voladizos arriostrados contra torsión únicamente en el apoyo, se puede tomar conservadoramente como valor de l la longitud del voladizo.
- r_T = radio de giro con respecto a un eje en el plano del alma, de una sección que comprenda la aleta a compresión más un tercio del área a compresión del alma, mm.
- A_f = área de la aleta a compresión, mm²
- C_b = $1.75 + 1.05(M_1/M_2) + 0.3(M_1/M_2)^2$

pero no mayor que 2.3^{*}, en donde M_1 y M_2 son los momentos flectores, menor y mayor respectivamente, en los extremos de la longitud sin arriostramiento, con respecto al eje mayor del miembro. Se considera positiva la relación M_1/M_2 cuando los momentos M_1 y M_2 tienen el mismo signo (flexión con doble curvatura) y negativa cuando su signo es diferente (flexión con curvatura simple). El valor de C_b se tomará igual a la unidad cuando el momento flector en cualquier punto intermedio del tramo sin arriostramiento considerado, es mayor que los de ambos extremos de dicho tramo. Para calcular los F_{bx} y F_{by} , que entran en la fórmula F.4-31 se puede averiguar C_b mediante la fórmula dada atrás cuando se trate de pórticos sometidos a desplazamiento de los nudos y deberá tomarse igual a la unidad cuando se trate de pórticos arriostrados contra dicha translación. Para vigas en voladizo C_b puede tomarse conservadoramente igual a la unidad.

Para vigas híbridas fabricadas con plancha, el F_y de las fórmulas F.4-11 y F.4-12 es el esfuerzo de fluencia de la aleta a compresión. La fórmula F.4-13 no es aplicable a vigas híbridas.

F.4.5.1.3 no es aplicable a perfiles tees cuya alma está en compresión en cualquier parte de la longitud no arriostrada.

F.4.5.2 - ESFUERZOS ADMISIBLES - Flexión de perfiles I, barras sólidas y platinas rectangulares con respecto a su eje menor.

No se requiere arriostramiento lateral en miembros cargados a través de su centro de cortante con respecto a su eje débil ni en miembros de igual resistencia con respecto a ambos ejes.

F.4.5.2.1 - Miembros de perfiles compactos - En miembros en I y H, doblemente simétricos con aletas compactas unidas al alma en forma continua y flexionados con respecto a sus ejes débiles (excepto miembros con puntos de fluencia superiores a 45,7 kgf/mm²); en barras redondas y cuadradas y en secciones rectangulares sólidas flexionadas con respecto a sus ejes más débiles, el esfuerzo admisible es

$$F_b = 0.75F_y \quad (\text{F.4-14})$$

F.4.5.2.2 - Miembros de perfiles no compactos - En miembros que no cumplan con los requisitos de perfiles compactos de F.2.8.5 que no estén cubiertos en F.2.12.3, flexionados con respecto a su eje menor, el esfuerzo admisible es

$$F_b = 0.60F_y \quad (\text{F.4-15})$$

* Es conservador tomar C_b igual a la unidad.

Los miembros en I y H, doblemente simétricos flexionados con respecto a sus ejes débiles (excepto miembros con puntos de fluencia superiores a 45,7 kgf/mm²) con aletas no compactas unidas al alma en forma continua pueden diseñarse con base en el esfuerzo admisible dado por la fórmula:

$$F_b = F_y \left[1.075 - 0.006 \left(\frac{b_f}{2t_f} \right) \sqrt{F_y} \right] \quad (\text{F.4-16})$$

F.4.5.3 - ESFUERZOS ADMISIBLES - Flexión de miembros tipo cajón y secciones tubulares rectangulares y circulares

F.4.5.3.1 - Miembros de perfiles compactos - En miembros flexionados con respecto a sus ejes fuertes o débiles, miembros de perfiles compactos definidos en F.2.8.5 y aletas unidas a las almas en forma continua, el esfuerzo admisible es

$$F_b = 0.66 F_y \quad (\text{F.4-17})$$

Para que un miembro tipo cajón sea considerado como perfil compacto deberá tener, adicionalmente a los requisitos de F 4 2 1, una altura no mayor de 6 veces el ancho, un espesor de aleta no mayor de 2 veces el espesor del alma y una longitud sin soporte lateral L_b inferior o igual a

$$L_c = \left[1370 + 843 \frac{M_1}{M_2} \right] \frac{b}{F_y} \quad (\text{F.4-18})$$

Excepto que no debe ser menor que $843(b/F_y)$, donde M_1 y M_2 son los momentos flectores, menor y mayor respectivamente, en los extremos de la longitud sin arriostramiento, con respecto al eje mayor del miembro. La relación M_1/M_2 se considera positiva cuando los momentos M_1 y M_2 tienen el mismo signo (flexión con doble curvatura) y negativa cuando su signo es diferente (flexión con curvatura simple).

F.4.5.3.2 - Miembros de perfiles no compactos - En miembros a flexión tipo cajón y secciones tubulares que cumplen con los requisitos de perfiles no compactos de F 2 8.5, el esfuerzo admisible es

$$F_b = 0.60 F_y \quad (\text{F.4-19})$$

No se requiere arriostramiento lateral en secciones tipo cajón cuya altura es menor de 6 veces su ancho. En secciones tipo cajón de mayores relaciones altura/ancho, se deben determinar los requisitos de soporte lateral mediante un análisis especial.

F.4.5.4 - ESFUERZOS ADMISIBLES DE CORTE - Para $h/t_w \leq 320/\sqrt{F_y}$, el esfuerzo cortante admisible tomado como el producto de la altura total por el espesor del alma es

$$F_v = 0.40 F_y \quad (\text{F.4-20})$$

Para $h/t_w > 320/\sqrt{F_y}$, el esfuerzo cortante admisible tomado como el producto de la distancia libre entre aletas por el espesor del alma es

$$F_v = \frac{F_y}{2.89} C_v \leq 0.40 F_y \quad (\text{F.4-21})$$

En donde:

$$C_v = \frac{31600k_v}{F_y (h/t_w)^2} \text{ cuando } C_v \text{ es menor que } 0.8$$

$$C_v = \frac{160}{h/t_w} \sqrt{k_v/F_y} \text{ cuando } C_v \text{ es mayor que } 0.8$$

$$k_v = 4.00 + \frac{5.34}{(a/h)^2} \text{ cuando } a/h \text{ es menor que } 1.0$$

$$k_v = 5.34 + \frac{4}{(a/h)^2} \text{ cuando } a/h \text{ es mayor que } 1.0$$

- t_w = espesor del alma, mm
 a = distancia libre entre atiesadores transversales, mm
 h = distancia libre entre aletas en la sección investigada, mm

Para la ruptura por cortante en conexiones extremas de vigas recortadas véase F.4.9.4.

Los límites máximos de h/t_w están dados en F.4.6. Allí se presenta un método alternativo de diseño para vigas de alma llena bajo la acción de campos tensionados

F.4.5.5 - ATIESADORES TRANSVERSALES - Cuando la relación h/t_w es mayor que 260 y el esfuerzo cortante máximo en el alma, f_v , es mayor que el dado por la fórmula F.4-23, se requieren atiesadores intermedios. La separación entre éstos, cuando se requieren, será tal que los esfuerzos cortantes en el alma no excedan el valor F_v dado por las fórmulas F.4-23 o F.4-28, aplicable según el caso, y la relación:

$$\frac{a}{h} \leq \left[\frac{260}{(h/t_w)^2} \right]^2 \text{ y } 3.0 \quad (\text{F.4-22})$$

F.4.5.6 - MIEMBROS FABRICADOS - Cuando dos o más canales o vigas laminadas se utilicen, una al lado de la otra, para formar un miembro a flexión, deberán conectarse a intervalos no mayores de 1500 mm. Podrán utilizarse separadores y pernos que pasen por entre ellos a todo el través siempre y cuando que, en vigas con 305 o más mm de altura, no se utilicen menos de dos pernos en cada sitio donde se coloque un separador.

Cuando haya que transmitir cargas concentradas de una viga a otra, o haya que repartirlas entre las vigas, se deben colocar entre éstas diafragmas que tengan suficiente rigidez para distribuir la carga. Dichos diafragmas deben unirse a las vigas mediante remaches, pernos o soldaduras.

F.4.5.7 - MIEMBROS DE ALMA ACARTELADA - Véase F.4.12.

F.4.6 - VIGAS ESBELTAS DE ALMA LLENA

Las vigas esbeltas de alma llena se distinguirán de las vigas corrientes de alma llena de acuerdo con la relación de esbeltez h/t_w . Cuando este valor es mayor que $813/\sqrt{F_y}$ se aplicarán las provisiones de esta sección; si no lo es se aplicarán las de F.4.5.

Para los esfuerzos admisibles de corte y el diseño de rigidizadores transversales véanse los numerales correspondientes de F.4.5 o los de esta sección si se utiliza la acción de campo tensionado

F.4.6.1 - LIMITACIONES DE LA ESBELTEZ DEL ALMA - Cuando no se utilizan atiesadores transversales o cuando éstos están espaciados a una distancia mayor que 1.5 veces la distancia libre entre aletas, la relación

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{9850}{\sqrt{F_{yf}(F_{yt} + 11.60)}} \quad (\text{F.4-23})$$

Cuando se utilizan atiesadores transversales espaciados a una distancia no mayor que 1.5 veces la distancia entre aletas, la relación

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{1680}{\sqrt{F_{yf}}} \quad (\text{F.4-24})$$

F.4.6.2 - ESFUERZOS ADMISIBLES DE FLEXION - Cuando la relación entre la altura del alma y su espesor exceda de $813/\sqrt{F_y}$, el esfuerzo máximo en la aleta a compresión no deberá exceder de

$$F'_b \leq F_b R_{PG} R_c \quad (\text{F.4-25})$$

en donde:

F_b = esfuerzo de flexión aplicable dado en F 2.12, kgf/mm²

$$R_{PG} = 1 - 0.0005 \frac{A_w}{A_f} \left(\frac{h}{t} - \frac{813}{\sqrt{F_y}} \right) \leq 1.0$$

$$R_c = \frac{12 + (A_w/A_f)(3\alpha - \alpha^3)}{12 + 2(A_w/A_f)} \leq 1.0$$

($R_c = 1.0$ en vigas no híbridas)

A_w = área del alma en la sección investigada, mm²

A_f = área de la aleta a compresión, mm²

$$\alpha = \frac{0.6 F_{yw}}{F_b} \leq 1.0$$

F.4.6.3 - ESFUERZOS ADMISIBLES DE CORTE CON ACCION DE CAMPOS TENSIONADOS - El corte promedio máximo en el alma, f_v , en kgf/mm², calculado para cualquier combinación de carga total o parcial, no debe exceder el valor dado por la fórmula F.4-21.

Alternativamente, para vigas de alma llena que no sean híbridas, si se colocan atiesadores intermedios, espaciados de tal manera que cumplan lo indicado en F.4.6.4, y si C_v es menor o igual a 1.0, se permite el esfuerzo calculado con la fórmula F.4-26 en lugar del dado por la fórmula F 4-21.

$$F_v = \frac{F_y}{2.89} \left[C_v + \frac{1 - C_v}{1.15 \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] \leq 0.40 F_y \quad (\text{F.4-26})$$

F.4.6.4 - ATIESADORES TRANSVERSALES - Los atiesadores transversales deben cumplir los requisitos de F.4.5.5.

En vigas diseñadas con base en la acción de campo tensionado, la separación de los atiesadores en los paneles extremos, en paneles con grandes agujeros y en los adyacentes a éstos, será tal que el f_v no exceda del valor dado por la fórmula F.4-21.

Los pernos y remaches que conectan los atiesadores con el alma de la viga estarán espaciados como máximo 300 mm entre centros. Si se usan soldaduras intermitentes de filete, la distancia libre entre soldaduras no será mayor de 16 veces el espesor del alma, ni de 250 mm

El momento de inercia, I_{xt} , de un par de atiesadores intermedios, o de un atiesador intermedio sencillo, con respecto a un eje en el plano del alma no será menor que

$$\frac{h}{50} \text{ mm}^4 \quad (\text{F.4-27})$$

El área total, en mm^2 , de los atiesadores intermedios, espaciados según lo requiera la fórmula F 4-28, no debe ser menor que

$$A_{st} = \frac{1 - C_v}{2} \left[\frac{a}{h} - \frac{(a/h)^2}{\sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] YDht \quad (\text{F.4-28})$$

en donde:

C_v , a , h y t están definidos en F 4.5.4

Y = cociente entre los esfuerzos de fluencia del alma y del atiesador

D = 1.0 para pares de atiesadores.

= 1.8 para atiesadores sencillos de ángulo.

= 2.4 para atiesadores sencillos de platina.

Cuando el esfuerzo de corte máximo en un panel, f_v , es menor que el permitido por la fórmula F.4-28, el área requerida de atiesadores se puede reducir proporcionalmente. Los atiesadores intermedios requeridos por la fórmula F.4-28 se deben conectar al alma de manera que transmitan un corte total en kgf/mm lineal de atiesador sencillo, o de par de ellos, no menor que el calculado por la siguiente fórmula:

$$f_{ws} = h \sqrt{\left(\frac{F_y}{302} \right)^3} \quad (\text{F.4-29})$$

en donde:

F_y = es el esfuerzo de fluencia del alma

Esta transferencia de corte puede reducirse en la misma proporción en que el esfuerzo de corte máximo calculado, f_v , en los paneles adyacentes sea menor que el permitido por la fórmula F.4-26. Sin embargo, los remaches y soldaduras en los atiesadores intermedios que se necesiten para transmitir al alma cargas o reacciones concentradas, se calcularán para la transmisión de estas cargas.

Salvo que se necesite apoyo directo para transmitir una carga concentrada o una reacción, basta con que los atiesadores intermedios lleguen cerca de la aleta en tensión. La soldadura que los conecta al alma se terminará a una distancia del pie cercano del filete de conexión alma-aleta, no menor de 4 veces el espesor del alma ni mayor de 6 veces este espesor

Cuando se utilicen rigidizadores sencillos y la aleta a compresión sea una placa rectangular, los rigidizadores irán conectados a dicha aleta con el fin de resistir cualquier tendencia a levantarse causada por torsión en la placa. Cuando se conecten riostras laterales a un rigidizador, o a un par de ellos, éstos a su vez se conectarán a la aleta en compresión en forma tal, que transmitan el 1% de la fuerza total en la aleta, a menos que ésta sea sólo de ángulos.

F.4.6.5 - ESFUERZOS COMBINADOS DE TENSION Y CORTE - Las almas de las vigas de alma llena cuyo diseño dependa de la acción de campo tensionado, conforme a la Fórmula F.4-26, se calcularán de tal manera que el esfuerzo de tensión por flexión, causado por el momento en el plano del alma de la viga no exceda de $0.60F_y$, ni de.

$$\left(0.825 - \frac{0.375f_v}{F_v}\right)F_y \quad (\text{F.4-30})$$

en donde:

- f_v = esfuerzo cortante promedio en el alma, obtenido al dividir el corte total por el área del alma, kgf/mm²
- F_v = esfuerzo cortante admisible en el alma según la fórmula F.4-28, kgf/mm²

El esfuerzo admisible de corte en las almas de vigas que tengan aletas y almas con puntos de fluencia superiores a 45 7 kgf/mm², no excederá del valor dado por la fórmula F.4-23 si el esfuerzo en la aleta debido a flexión, f_b , excede de $0.75F_b$.

F.4.7 ESFUERZOS COMBINADOS

F.4.7.1 - FLEXION Y COMPRESION AXIAL - Los miembros solicitados simultáneamente por esfuerzos de flexión y de compresión axial deben ser diseñados para satisfacer los siguientes requisitos:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx}f_{bx}}{\left[1 - (f_a/F'_{cx})\right]F_{bx}} + \frac{C_{my}f_{by}}{\left[1 - (f_a/F'_{cy})\right]F_{by}} \leq 1.0 \quad (\text{F.4-31})$$

$$\frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0 \quad (\text{F.4-32})$$

Cuando $f_a/F_a \leq 0.15$ se puede utilizar la fórmula F 4-33, en lugar de las fórmulas F.4-31 y F.4-32:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0 \quad (\text{F.4-33})$$

En las fórmulas F 4-31, F.4-32 y F.4-33 los subíndices x y, combinados con los subíndices b, m y e, indican el eje de flexión con respecto al cual se aplica un esfuerzo particular o una propiedad de diseño, y

- F_a = esfuerzo axial a compresión permisible si existiera únicamente fuerza axial, kgf/mm²
- F_b = esfuerzo a compresión debido a flexión, permisible si solo existiera momento flector, kgf/mm²

$$F'_c = \frac{12\pi^2 E}{23(Kl_b/r_b)^2}$$

Esfuerzo crítico de Euler dividido por un factor de seguridad. (En la expresión para F_c , l_b es la longitud real no soportada en el plano de flexión, r_b es el radio de giro correspondiente, y K el coeficiente de longitud efectiva en el plano de flexión. Como en el caso de F_a , F_b y $0.6F_y$, F_c puede ser incrementado en un tercio de acuerdo con F 2 8 5 2).

- f_a = esfuerzo axial calculado, kgf/mm²
- f_b = esfuerzo a compresión debido a flexión, calculado en el punto en consideración, kgf/mm²
- C_m = un coeficiente cuyo valor se establece como sigue:

(1) Para miembros a compresión en marcos con translación lateral de sus uniones

$$C_m = 0.85$$

(2) Para miembros comprimidos con restricción rotacional, pertenecientes a marcos arriostrados contra translación de sus uniones, y no sujetos a cargas transversales entre sus apoyos, en el plano de flexión considerado

$$C_m = 0.6 - 0.4 \frac{M_1}{M_2}$$

pero no menor que 0.4 en donde M_1/M_2 es la relación entre los momentos en los extremos del respectivo tramo sin arriostrar, en el plano de flexión estudiado, siendo M_1 el menor y M_2 el mayor de estos dos momentos. Esta relación M_1/M_2 es positiva cuando hay doble curvatura en el elemento; y negativa, en el caso de curvatura simple.

(3) Para miembros comprimidos en marcos arriostrados contra translación de sus uniones en el plano de carga y con cargas transversales entre sus apoyos, el valor de C_m se puede calcular mediante un análisis racional. Sin embargo, a falta de tal análisis, se pueden emplear los siguientes valores:

(a) Para miembros cuyos extremos están restringidos contra rotación en el plano de flexión

$$C_m = 0.85$$

(b) Para miembros con extremos no restringidos contra rotación en el plano de flexión

$$C_m = 1.0$$

F.4.7.2 - FLEXION Y TENSION AXIAL - Los miembros solicitados simultáneamente por esfuerzos de flexión y de tensión axial se deben diseñar en toda su longitud para satisfacer los requisitos de la fórmula

$$\frac{f_a}{F_t} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0 \quad (\text{F.4-34})$$

en donde

- f_b = es el esfuerzo calculado a tensión debido a la flexión
- f_a = es el esfuerzo axial calculado a tensión
- F_b = es el esfuerzo admisible a tensión que gobierna, definido en F 2.3.1.

Sin embargo el esfuerzo calculado a compresión que resulta de la flexión producida por una carga independiente relacionada con la tensión axial, considerada anteriormente, no debe exceder el valor aplicable establecido en F.4.5.

F.4.8 CONSTRUCCION COMPUESTA

F.4.8.1 - DEFINICION - La construcción compuesta consiste en vigas de acero que soportan una placa de concreto reforzado. Se consideran dos casos de miembros de sección compuesta: los miembros totalmente revestidos cuya interacción depende de la adherencia natural y aquellos que utilizan transmisores de corte (anclajes mecánicos) para desarrollar la acción compuesta. En estos últimos, no es necesario que la viga metálica esté totalmente revestida.

F.4.8.2 - HIPOTESIS DE DISEÑO

- (1) Las vigas con recubrimiento se diseñarán para soportar por sí mismas las cargas muertas aplicadas antes del endurecimiento del concreto (a menos que estas cargas sean soportadas temporalmente por la cimbra) y para soportar en conjunto con la losa, todas las cargas aplicadas después de endurecido el concreto. En ambas circunstancias, el esfuerzo calculado de flexión no excederá de $0.66F_y$, donde F_y es el esfuerzo de fluencia de la viga de acero. El esfuerzo de flexión producido por las cargas aplicadas después del endurecimiento del concreto, se calculará con base en las propiedades de la sección compuesta. Los esfuerzos de tensión en el concreto se considerarán despreciables. Si se prefiere, puede

diseñarse la viga de acero para resistir por sí misma el momento positivo producido por todas las cargas, utilizando un esfuerzo de flexión igual a $0.76F_y$; en este caso, no se requiere apuntalamiento temporal

- (2) Cuando se utilicen transmisores de corte de acuerdo con F 4.8 4, la sección compuesta se diseñará para soportar todas las cargas en tal forma que no se excedan los esfuerzos admisibles de F.4.5.1, aún en el caso en que la sección de acero no sea apuntalada durante la construcción. En los análisis de secciones compuestas en zonas de momento positivo, la sección de acero puede excluirse de los requerimientos de sección compacta (F 4.2.1) y no hay límite sobre la longitud no soportada de la aleta a compresión

El refuerzo paralelo a la viga contenido dentro del ancho efectivo de la placa, cuando ésta ha sido anclada de acuerdo con los requisitos del Reglamento de construcción aplicable, puede incluirse en el cálculo de propiedades de la sección compuesta, siempre y cuando se provean conectores que cumplan los requerimientos de F.4.8.4.

Las propiedades de la sección compuesta se calcularán de acuerdo con la teoría elástica. Por ser despreciables se omitirán los esfuerzos de tensión en el concreto. Para el cálculo de esfuerzos, el área de compresión de la sección de concreto se hará equivalente a un área de acero dividiéndola por la relación modular, n , para concreto de peso normal de la resistencia especificada. Para el cálculo de deflexiones, las propiedades de la sección transformada se basarán en la relación modular apropiada, n , para la resistencia y el peso del concreto especificado, con $n=E/E_c$.

Cuando no sea factible o necesario proveer los conectores adecuados que satisfagan los requerimientos de corte horizontal para desarrollar la acción compuesta total, el módulo efectivo de la sección se determinará así:

$$S_{ef} = S_s + \sqrt{\frac{V_h'}{V_h}} (S_{tr} - S_s) \quad (F.4-35)$$

Con V_h' y V_h definidos en F 4 8 4

S_s = módulo de la sección de la viga de acero referido a la fibra inferior, mm^3

S_{tr} = módulo de la sección compuesta transformada referido a la fibra inferior, calculado con el máximo ancho permitido para la aleta en compresión, F 4 8 1, mm^3

En vigas compuestas construidas sin apuntalamiento temporal, los esfuerzos en la sección de acero no deben exceder $0.90F_y$. Los esfuerzos se calcularán suponiendo que la sección de acero resista todas las cargas aplicadas antes de que el concreto haya alcanzado el 75% de la resistencia requerida y que la sección compuesta efectiva resista todas las cargas aplicadas después de este tiempo.

El módulo de la sección compuesta transformada deberá utilizarse en el cálculo de los esfuerzos de compresión por flexión en el concreto y, cuando se construya sin apuntalamiento, este esfuerzo deberá calcularse para las cargas aplicadas después que el concreto haya alcanzado el 75% de la resistencia requerida. El esfuerzo en el concreto no ha de sobrepasar $0.45f_c'$.

F.4.8.3 - FUERZA CORTANTE EN LOS EXTREMOS - El nervio y las conexiones extremas de la viga del acero deben diseñarse para soportar la reacción total

F.4.8.4 - TRANSMISORES DE CORTE - Excepto para el caso de vigas embebidas, definidas en F 4.8 2, el corte total horizontal en la unión de la viga de acero y la losa de concreto se transferirá por transmisores de corte soldados a la aleta superior de la viga y embebidos en el concreto. Para una completa acción compuesta con el concreto sujeto a esfuerzos de compresión por flexión, toda la fuerza cortante horizontal actuante entre el punto de momento máximo y los puntos de inflexión se tomará como la menor obtenida de.

$$V_h = \frac{0.85f_c' A_c}{2} \quad (F.4-36)$$

$$V_h = \frac{A_s F_y}{2} \quad (F.4-37)$$

en donde

NSR-98 – Capítulo F.4 – Estructuras de acero hechas con perfiles laminados o miembros armados; diseño para esfuerzos admisibles

- f'_c = resistencia a la compresión del concreto, kgf/mm²
 A_c = área efectiva de la aleta de concreto definida en F.2.3.7, mm²
 A_s = área de la viga de acero, mm²

En vigas compuestas continuas cuando el acero de refuerzo longitudinal se considere que actúa en forma compuesta con la viga de acero en las regiones de momento negativo, el corte total horizontal resistido por los conectores comprendidos entre un apoyo interior y cada uno de los puntos de inflexión adyacentes se tomará como:

$$V_h = \frac{A_{sr} F_{yr}}{2} \quad (F.4-38)$$

en donde:

- A_{sr} = área total de refuerzo longitudinal sobre un apoyo interior localizado dentro del ancho efectivo de la aleta (F 2.3.7), mm²
 F_{yr} = esfuerzo mínimo de fluencia del acero de refuerzo longitudinal, kgf/mm²

Para una acción compuesta total, el número de conectores que resisten la fuerza cortante horizontal V_h , localizados a cada lado del punto de momento máximo, no deberá ser menor que el dado por la relación V_h/q , en donde q es la fuerza de corte admisible de un conector dado en la tabla F.4-2 para losas con cielo raso plano construidas con agregados que cumplan la norma NTC 174 (ASTM C33). Para losas con cielo raso plano construidas con agregados producidos en horno giratorio de acuerdo con la norma NTC 4045 (ASTM C330), con concretos de peso unitario no menor de 1440 kgf/m³, la fuerza admisible de corte para un conector se obtiene de multiplicar los valores de la tabla F.4-2 por los coeficientes de la tabla F.4-3

Para acción compuesta parcial con concreto sujeto a compresión por flexión, la fuerza cortante horizontal V'_h , que se utiliza en el cálculo de S_r , deberá tomarse como el producto de q por el número de conectores colocados entre el punto de momento máximo y el punto más cercano de inflexión. El valor de V'_h deberá ser mayor de 1/4 del valor más pequeño dado por la fórmula F.4-36, utilizando el ancho efectivo máximo permitido para la aleta de concreto, o el dado por la fórmula F 4-37. El momento de inercia efectivo para cálculo de deflexiones se determinará así:

$$I_{ef} = I_s \sqrt{\frac{V'_h}{V_h}} (I_{tr} - I_s) \quad (F.4-39)$$

en donde:

- I_s = momento de inercia de la viga de acero, mm⁴
 I_{tr} = momento de inercia de la sección compuesta transformada, mm⁴

**Tabla F.4-2
Fuerza de corte horizontal admisible por conector (q), kgf (a)**

Conector (b)	Resistencia especificada a la compresión del concreto f'_c (kgf/cm ²)		
	210	245	≥ 280
Vástago de 13 mm X 50 mm, con gancho o cabeza.	2310	2490	2680
Vástago de 16 mm X 63 mm, con gancho o cabeza.	3630	3900	4170
Vástago de 19 mm X 76 mm, con gancho o cabeza.	5220	5670	6030
Vástago de 22 mm X 89 mm, con gancho o cabeza.	7080	7620	8160
Canal C3 X 4.1	76.8 w (c)	83.9 w (c)	89.3 w (c)
Canal C4 X 5.4	82.1 w (c)	89.3 w (c)	94.6 w (c)
Canal C5 X 6.7	87.5 w (c)	94.6 w (c)	100.0 w (c)

Notas:

- (a) Aplicable solamente a concreto con agregados NTC 174 (ASTM C33).
- (b) La fuerza cortante horizontal tabulada puede usarse para conectores de vástago más largo que el indicado.
- (c) w = Longitud del canal, mm.

**Tabla F.4-3
Coeficientes a utilizar cuando el concreto esta hecho con agregados NTC 4045 (ASTM C330)**

Resistencia especificada del concreto f'_c kgf/cm ²	Peso unitario del concreto seco al aire kgf/m ³						
	1440	1520	1600	1680	1760	1840	1920
280 o menos	0.73	0.76	0.78	0.81	0.83	0.86	0.88
350 o más	0.82	0.85	0.87	0.91	0.93	0.96	0.99

Los conectores requeridos a cada lado del punto de momento máximo en la zona de momento positivo pueden distribuirse uniformemente entre este punto y los puntos adyacentes de inflexión, excepto que N_2 , número de conectores necesarios entre cualquier carga concentrada en esa área y el punto de inflexión, no deberá ser menor que el valor dado por la fórmula F.4-40:

$$N_2 = \frac{N_1 (M_\beta / M_{max}) - 1}{\beta - 1} \quad (F.4-40)$$

en donde:

- M = momento (menor que el momento máximo) en el punto de aplicación de la carga concentrada.
- N_1 = número de conectores requeridos entre el punto de momento máximo y el punto de inflexión, determinados mediante la relación V_h/q o V_h'/q , según el caso.

$$\beta = \frac{S_{lr}}{S_s} \quad \text{o} \quad \frac{S_{ef}}{S_s}, \text{ según el caso}$$

Para una viga continua, los conectores requeridos en la región de momento negativo pueden ser uniformemente distribuidos entre el punto de momento máximo y cada punto de inflexión. Los conectores deberán tener un recubrimiento mínimo lateral de concreto de 2.5 mm, exceptuando el caso de aquellos instalados en los salientes de las láminas corrugadas que constituyen el tablero. El diámetro de los conectores de vástago no deberá ser mayor que 2.5 el espesor de la aleta a la cual ellos están soldados, excepto los conectores colocados directamente sobre el nervio. El espaciamiento mínimo centro a centro de los conectores de vástago deberá ser de 6 diámetros a lo largo del eje longitudinal de la viga y 4 diámetros en la dirección transversal. El máximo espaciamiento de centro a centro no excederá de 8 veces el espesor total de la placa.